

С.В. Щербина, П.И. Пигулевский, Т.В. Криль

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В Г. КРИВОЙ РОГ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для инженерно-геологических условий г. Кривой Рог проведен анализ значений приращений балльности сейсмических событий с учетом влияния техногенных транспортных нагрузок. Детально описана геологическая обстановка исследуемой территории, приведены записи микросейсмических сигналов. Регистрация сигналов выполнена с использованием сейсмической станции УК15, разработанной в Институте геофизики НАН Украины. Установлено, что при определении уровня сейсмической нагрузки на жилые здания и сооружения необходимо учитывать поправку балльности в 0,1.

Ключевые слова: компьютерные системы микросейсмических наблюдений, информационное микросейсмическое районирование, интернет-технологии регистрации промышленных взрывов.

Введение. Город Кривой Рог имеет особую специфику – расположен вдоль месторождения железных руд, вытянутого в меридиональном направлении до 100 км, в широтном – до 20 км. При этом шахты, карьеры, отвалы и хвостохранилища находятся в пределах городской агломерации или вблизи городской черты. Имеют место увеличение водопотребления, рост объемов промышленного и городского строительства, изменение природных русел рек, создание водохранилищ, затопление отработанных шахт и карьеров, развитие процессов подтопления вследствие непредусмотрения дренажных сооружений, что, в свою очередь, может вызвать повышение сейсмической опасности для жилых зданий на этой территории.

Расчет уровня допустимых реакций сооружений на особое сочетание нагрузок сейсмических воздействий на жилые сооружения производится методами, базирующимися на анализе спектральных характеристик микросейсмических сигналов территорий, на которых расположены исследуемые здания [3, 8]. На основании этих методов выполнен спектральный анализ микросейсмических записей на территории г. Кривой Рог.

Согласно карте прогнозируемой интенсивности сейсмических воздействий (сейсмической балльности), территория г. Кривого Рога и Криворожского железорудного бассейна относится к слабосейсмическому региону [4]. В геологическом отношении она расположена в зоне влияния Криворожско-Кременчугской шовной зоны (ККШЗ) Украинского щита (УЩ). В пределах ККШЗ на протяжении последнего десятилетия было зарегистрировано несколько землетрясений с магнитудой около 4. Эпицентры землетрясений, в соответствии с координатами, которые могут различаться по широте на $0,3^\circ$, по долготе – на $0,2^\circ$ (каталоги EMSC, ISC), находятся в зоне Криворожско-Кременчугского глубинного разлома.

Кроме естественных движений земной коры за последние десятилетия активизируются инженерно-геологические процессы: сдвиг пород над подземными пустотами, на водонасыщенных склонах отвалов, подтопление, проседание грунтов, сотрясения отдельных домов, например, жилого дома по ул. Ленина, 13. Для выявления причин этих процессов выполнены специальные наблюдения с последующим анализом и расчетом интенсивности сотрясений.

Исследования проводились в подвале жилого дома по адресу ул. Ленина, 13, в здании райисполкома – ул. Ленина, 27, и во дворе частного дома по ул. Карла Маркса, 99 (рис. 1), где расположен пункт гидрогеологических наблюдений за режимом подземных вод. Наблюдения велись в дневное, вечернее и ночное время суток, что необходимо для изучения и анализа спектров техногенных и природных микросейсмических колебаний изучаемых мест. Административно все изучаемые участки расположены в Центральном районе г. Кривого Рога, от пр-та Карла Маркса на севере до ул. Ленина – на юге. Территория занята промышленной (административные здания, склады, мастерские и т. д.) и жилой застройками (одно- и многоэтажные дома).

Инженерно-геологическая характеристика района исследований. Пункты наблюдения находятся на удалении от 5 до 80 м от р. Саксагань. Они расположены в надпойменной террасе левого берега (склона) долины реки, которая впадает в р. Ингулец в 450 м на северо-запад от точек 1 и 2 (рис. 1, 2). Рельеф территории практически ровный, со слабым уклоном в северо-западном направлении. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 37,7 до 42,6 м (рис. 2).

Наблюдения микросейсмических колебаний разной природы были проведены в точках со специфической тектоникой территории исследований, приуроченной к саксаганской складчатой си-

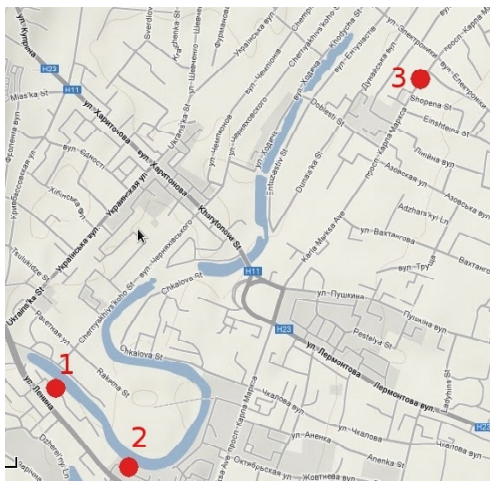


Рис. 1. Пункты наблюдений микросейсмических сигналов в г. Кривой Рог: 1 – жилое здание по ул. Ленина, 13; 2 – здание райисполкома по ул. Ленина, 27; 3 – частное жилое здание по ул. К. Маркса, 99

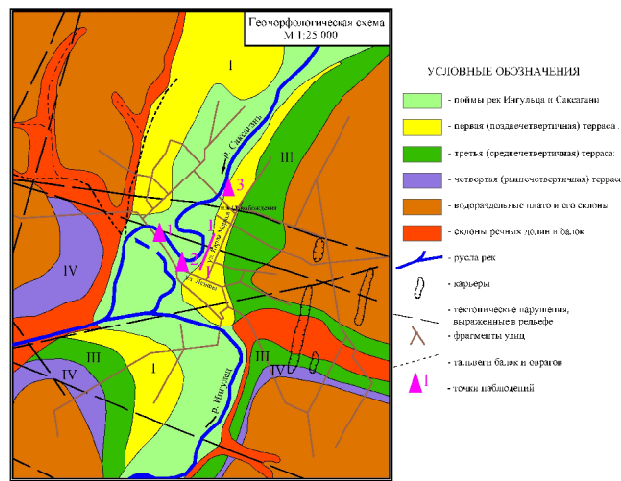


Рис. 2. Геоморфологическая схема района исследований

стеме субмеридионального простираия и занимающей центральную часть кристаллического массива – Криворожский синклинирий, на участке сочленения крупных разновозрастных гранитоидных массивов Долинского, Боковьянского, Христофоровского и Туровского. В строении кристаллического фундамента участвуют сложноразбитые нижнеархейские и нижнепротерозойские суперкратальные, а также ультраметаморфические образования, слагающие зоны разломов.

В бассейне рек Саксагань и Ингулец развиты субширотные структуры, наложенные на древние субмеридиональные складки [2, 5, 6]. Метаморфическая толща криворожской серии вследствие тектонических нарушений собрана в многочисленные складки меридионального простираия, осложненные сбросовыми и надвиговыми нарушениями.

Гидрогеологические условия данной территории достаточно сложные. Комплекс интрузивных и метаморфических пород докембрия перекрыт рыхлыми кайнозойскими отложениями пестрого литологического состава. Наличие протяженных зон дробленных и трещиноватых пород обусловило движение подземных вод в одних районах, в других почти полное отсутствие подобных зон привело к площадному развитию массивных разновидностей кристаллических пород. Сильно развита овражно-балочная сеть. В соответствии с геологическим строением выделяют: водоносный горизонт, связанный с четвертичными суглинками, имеет ограниченное распространение, типа верховодки; водоносный горизонт, приуроченный к известнякам и пескам неогенового возраста; водоносный горизонт, приуроченный к водопроницаемым слоям эоценового возраста, имеет напорные свойства.

Первый безнапорный водоносный горизонт имеет установившийся уровень на глубинах 4,5–

6,3 м. Водосодержащими являются супеси слоя 4 и пески слоев 5, 6. Относительным водупором служат элювиальные грунты. Направление потока подземных вод юго-восточное, в сторону р. Ингулец [2]. По потенциальной подтопляемости территория относится к практически неподтопляемой, скорость подъема уровня менее 0,1 м/год.

Наиболее древние образования осадочного комплекса пород относятся к отложениям палеогена (эоцен), представленным песками, углистыми глинами, бурыми углями общей мощностью от 25 до 42 м. Приуроченность эоценовых пород к мульдообразным понижениям кристаллического ложа обусловило их ограниченное залегание в виде разрозненных островков. Отложения палеогена перекрыты отложениями неогена сарматского и понтического ярусов, для которых характерна смена слоев известняков, глин и песков общей мощностью от 11,0 до 24,0 м.

Выше неогеновых отложений залегают четвертичные образования в виде сплошного довольно мощного покрова по всей площади района, среди которых наиболее распространены две разновидности: суглинки лессовидные желто-бурые и палево-желтые с частыми карбонатными гнездами прожилками с включениями гипса; бурые и красно-бурые суглинки и глины с включениями карбонатов и гипса.

В долинах рек и глубоких оврагов породы осадочного комплекса полностью или частично размывы и вместо них отложились аллювиальные образования, представленные песчано-глинистыми и илестыми часто переслаивающимися породами.

Геологический разрез до глубины 17 м (рис. 3) представлен средне- и верхнечетвертичными элювиально-делювиальными глинистыми отложениями и средне- и нижнечетвертичными аллювиальными песчаными грунтами различной крупности, залегающими на элювиальных образованиях ме-

РАЗРЕЗ I-I М: верт. 1:100
гор. 1:500

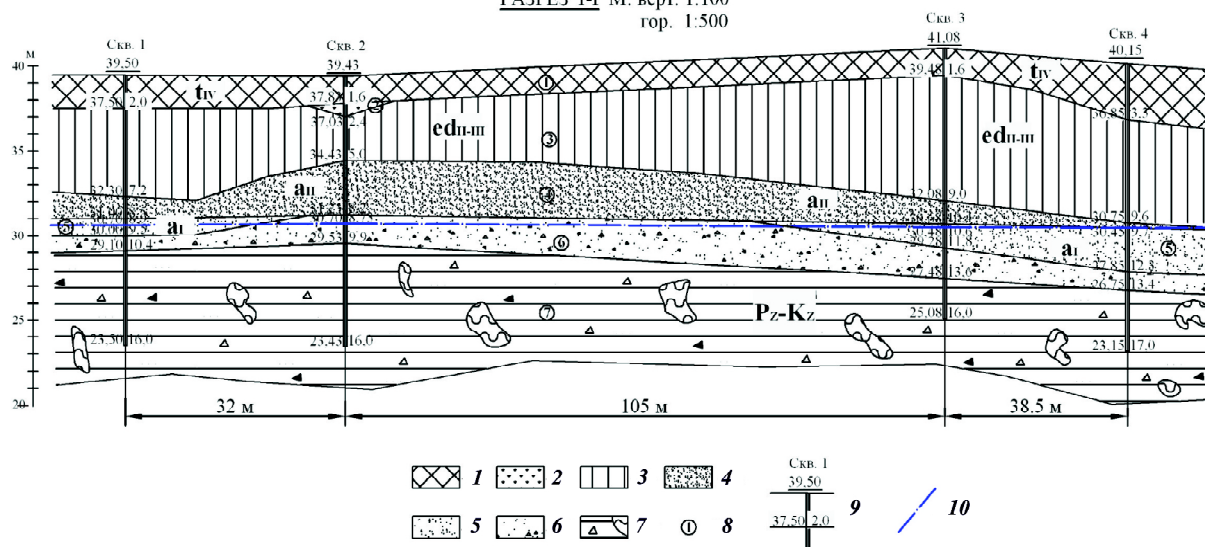


Рис. 3. Схематический геологический разрез: 1 – насыпные грунты; 2 – почвенно-растительные грунты, суглинки темно-серые, твердые, с включениями корней растений; 3 – лессовидные суглинки буровато-желтые, низкопористые, слабopросадочные; 4 – пески кварцевые, серые, мелкие, маловлажные, влажные, плотные; 5 – пески кварцевые, средней крупности, плотные, водонасыщенные, неоднородные; 6 – пески кварцевые, крупные серые, плотные водонасыщенные, с включениями гальки, гравия и реже валунов кристаллических пород; 7 – дисперсная зона элювия хлоритовых сланцев; 8 – номер ИГЭ; 9 – скважина и ее номер (цифры сверху – абсолютные отметки поверхности (м), цифры справа – мощность пород (м), слева – абсолютные отметки подошвы (м)); 10 – уровень подземных вод

таморфических пород. С поверхности осадочные образования перекрыты насыпными и почвенно-растительными грунтами. Толща грунтов разделяется на 7 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) (табл. 1). Суглинки ИГЭ-3 обладают просадочными свойствами от замачивания при нагрузках, превышающих природные. Территория относится к I типу по просадочности.

Результаты и обсуждение исследований. Для наблюдений была выбрана специальная сейсмостанция UK15 Института геофизики (ИГ) НАН Украины, разработанная для выполнения наблюдений и регистрации как высокочастотных техногенных микроколебательных процессов, так и естественного микросейсмического районирования [1, 9].

Регистрация микросейсмических сигналов разной природы (техногенных и природных) проводилась с прерыванием процесса наблюдений по

техническим причинам в течение 3 сут. Точное время периодов наблюдений указано в табл. 2.

Микросейсмические исследования. Для измерения приращения балльности на описанной выше территории использовался метод, предложенный в нормах [3]. Для вычисления необходимых для расчета микросейсмических параметров использовались записи микросейсмических сигналов, примеры которых показаны на рис. 4, – видны техногенные шумовые импульсы транспортных средств, проходящих рядом с точкой наблюдения.

Наиболее качественное определение параметров для вычисления приращения балльности получают при использовании долговременных накоплений спектров микросейсмических записей [7]. На рис. 5 представлен образец записи кумулятивного спектра, на котором можно увидеть характерные статические пики частот колебаний земной поверхности в точке наблюдения, обусловленные

Таблица 1. Расчетные показатели физико-механических свойств грунтов

Номер ИГЭ	Объемная масса $\gamma_3/\gamma_{пг}$, г/см ³	Угол внутреннего трения φ_I/φ_{II} , градусы	Удельное сцепление, c_I/c_{II} , кгс/см ²	Модуль общей деформации $E_{ест/вод}$, кгс/см ²	Условное расчетное давление R_0 , кгс/см ²	Коэффициент фильтрации k_f , м/сут
3	1,84/1,85	25/25	0,18/0,19	120/80	—	0,36
4	1,89/1,90	33/36	0,03/0,04	370	—	1,0
5	1,99/1,99	35/38	0,01/0,02	410	—	10,0
6	2,07/2,07	37/41	0,01/0,01	450	—	10,0
7	1,96/1,97	19/23	0,35/0,51	160	2,3	0,004

Примечание. По Международной системе СИ 1 кгс = 9,80665 Н.

Таблица 2. Краткое техническое описание, адреса и координаты точек наблюдений микросейсмических сигналов в г. Кривой Рог

Номер точки	Адрес точек микросейсмических наблюдений	Координаты	Время наблюдения		Причина проведения наблюдений
			Начало	Окончание	
1	Жилое многоэтажное здание по ул. Ленина, 13	47°54'N 33°20' E	2011-11-14 07:08:00	2011-11-14 18:36:00	На основании жалоб жителей западной части дома
2	Здание райисполкома по ул. Ленина, 27	47°54'N 33°20' E	2011-11-14 19:57:00	2011-11-15 06:26:00	Для оценки относительных геолого-тектонических условий расположения здания
3	Жилой дом по ул. К. Маркса, 99	47°55'N 33°21' E	2011-11-15 16:35:00	2011-11-16 06:16:00	Для оценки специфики геотектоники точки расположения здания

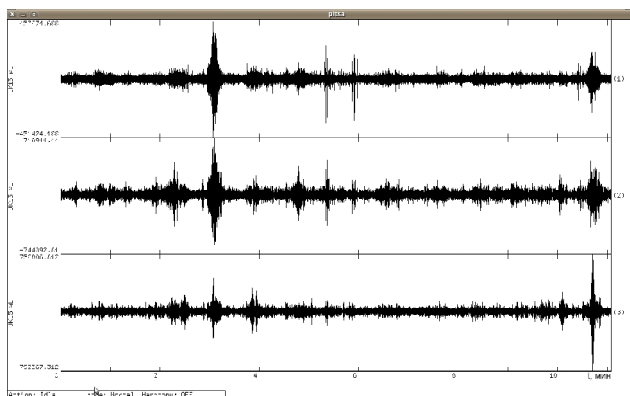


Рис. 4. Трехкомпонентная микросейсмическая запись микросейсмических колебаний в точке наблюдения 1

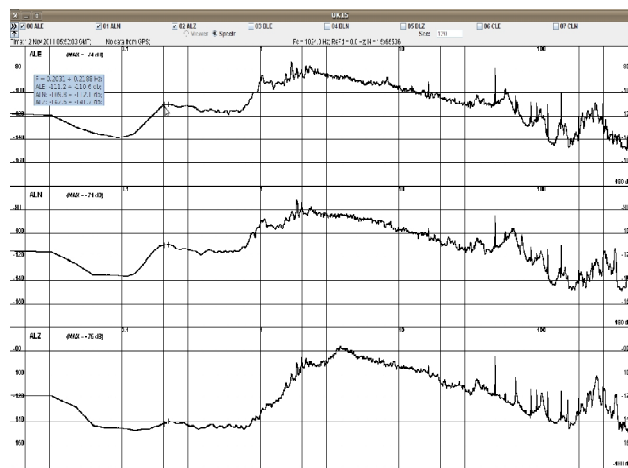


Рис. 5. Трехкомпонентные кумулятивные спектры микросейсмических записей

разной природой. Характерные пики частот колебаний естественных сигналов разной природы находятся в диапазоне от низкочастотных природных микросейсмиков (0,1–0,5 Гц) до техногенных, связанных с движением транспорта (1,0–6,0 Гц). Низко- и среднечастотные пики спектра микросейсмических колебаний наиболее оптимальны для расчета приращения балльности за длительный период времени наблюдений в точках с разными геотектоническими условиями.

Долговременные записи кумулятивного спектра микросейсмических колебаний показаны на рис. 6. На нем видно, что в течение разных периодов времени сила отдельных микросейсмических колебаний разной природы существенно изменялась. Кроме того, повторяемость специфического микросейсмического сигнала носит четкий перио-

дический характер. Как правило, происхождение такого широкополосного микросейсмического шума может быть обусловлено движением трамваев или других тяжелых транспортных средств. Пики спектров колебаний на звуковых частотах зарегистрированы в пределах полос 30–40 и 200–300 Гц. Эти колебания могут быть обусловлены высокочастотными компонентами колебаний здания, где располагалась аппаратура.

Для расчета приращения балльности были взяты значения кумулятивных спектров разных направлений микросейсмических колебаний. Наиболее оптимальным вариантом для данной геотектонической области наблюдения было использование значений частот вблизи 1,0 Гц (табл. 3). Этот выбор наиболее подходит для оценки силы реакции точки наблюдения на входной сигнал,

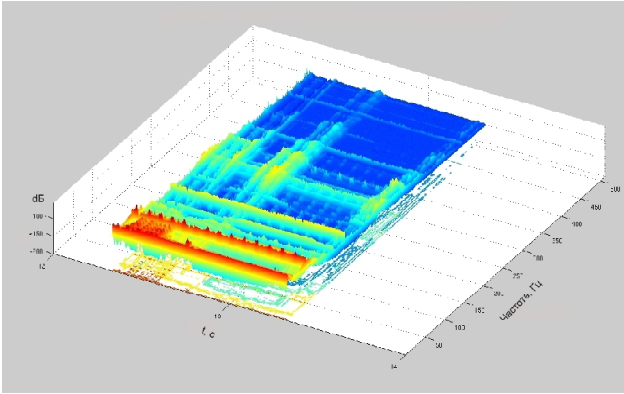


Рис. 6. Кумулятивный спектр компоненты N вектора микросейсмической записи, сделанной станцией UK15, которая была разработана в ИГ НАН Украины [7, 9]

который может быть обусловлен сейсмической волной мощного локального землетрясения [4].

Кроме учета интенсивности воздействий локальных землетрясений рассмотрим расчет приращения балльности на низкой частоте 0,188 Гц (табл. 4). Эта частота регистрируется в любых точках области наблюдения и имеет более широкую природу своего источника, выраженного в виде очень удаленной мощной поверхностной сейсмической волны, порожденной далеким землетрясением.

Согласно анализу значений приращений балльности (см. табл. 1, 2), точки наблюдения 1–2 и 2–3 существенно не отличаются покомпонентно при воздействии на них удаленных землетря-

сений, таких как, например, землетрясения Вранча, по которому определен уровень сотрясаемости в 7 баллов. Однако значительное различие уровня сейсмической сотрясаемости исследованных точек скорее всего связано с более высокой частотой в 1,0 Гц, что может быть опаснее в случае интенсивных локальных землетрясений.

Для окончательного расчета уровня интенсивности сейсмической сотрясаемости точек 1 и 3 необходимо учесть поправку балльности в 0,1, что определено геологическим строением рассматриваемой территории. Таким образом, можно предположить, что интенсивность сотрясаемости проанализированных точек наблюдений по адресам ул. Ленина, 13 и ул. К. Маркса, 99 определяется в 7,6 балла, при которой возможны появление легких трещин в стенах и возникновение оползневых процессов в небольших (локальных) масштабах. Это повышает уровень сейсмической опасности и ужесточает требования при строительстве новых или реконструкции старых зданий. Учет полученной информации обеспечит качественное развитие сейсмостойчивого строительства в г. Кривой Рог.

Выводы. Для инженерно-геологических условий территории исследований при расчете уровня интенсивности сейсмической сотрясаемости необходимо учитывать поправку балльности в 0,1.

Анализ результатов измерений микросейсмических сотрясений исследованного здания по ул. Ле-

Таблица 3. Расчет приращения балльности для точек наблюдений 1 и 3 относительно точки 2 на частоте 1,0 Гц

Компоненты вектора записей	Значения спектров в точках наблюдения			Приращение балльности точек		Наиболее опасный источник сейсмических событий в данном направлении
	1	2	3	2–1	2–3	
E–W	85,3	148,3	82,9	0,5	0,5	Вранча
N–S	82,6	113,2	89,8	0,3	0,2	–
Z	125,3	119,2	99,8	0,0	0,2	–

Таблица 4. Расчет приращения балльности точек наблюдений 1 и 3 относительно точки 2 на частоте 0,19 Гц

Компоненты вектора записей	Значения спектров в точках наблюдения			Приращения балльности точек		Наиболее опасный источник сейсмических событий в данном направлении
	1	2	3	2–1	2–3	
E–W	115,0	138,4	95,1	0,2	0,3	Вранча
N–S	112,4	103,4	98,3	–0,1	0,0	–
Z	141,0	100,4	99,3	–0,3	0,0	–

нина, 13 показує, що високий рівень ощущаемых интенсивных техногенных сотрясений может быть обусловлен следующими причинами:

- 1) спецификой геотектонического строения изученных участков, выраженной в том, что сильно развитая разноранговая тектоника активизируется современными геодинамическими процессами; совокупность природных и техногенных процессов, по всей видимости, оказывает влияние на овражно-балочную сеть, которая и создает неблагоприятные гидрогеологические условия для участка, где расположено жилое здание;
- 2) сближением резонансных частот собственных колебаний здания с внешней частотой суммарных воздействий транспортных и работающих горнодобывающих и коммунальных предприятий, которые, возможно, поддерживаются грунтовыми основаниями здания; это предположение, вероятно, подтверждается пиком спектра частот зарегистрированных колебаний в диапазоне от 3 до 5 Гц.

1. *Визначення рівня сейсмічної небезпеки будівельного майданчика НСК “Олімпійський” в м. Києві / О. Кендзера, О. Скляр, Ю. Лісовий, Є. Корнієнко, Ю. Семенова // Вісн. КНУ. Геологія. – 2010. – Т. 50. – С. 16–22.*
2. *Десятникова Т.В.* Отчет об инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства жилых домов по ул. Смолика, Ленина, Первомайской: Отчет / ДНВП Геоинформ Украины. – Кривой Рог, 1986. Инв. № 49230, Кн. I. – 110 с.

3. *Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Державні будівельні норми України).*
4. *Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 года / [Кутас Р.И., Омельченко В.Д., Дрогицкая Г.М., Калитова И.А.] // Геофиз. журн. – 2009. – Т. 31, № 1. – С. 42–52.*
5. *Кутина А.Ф.* Отчет застройки проспекта Карла Маркса в г. Кривой Рог / Кутина А.Ф., Сулимов В.А.: Отчет / ДНВП Геоинформ Украины. – Кривой Рог, 1986. Инв. № 49458, Кн. I. – 111 с.
6. *Составление среднemasштабных геолого-структурных карт докембрийских образований (на примере юго-восточной части Украинского щита) / [П.И. Пигулевский, Б.З. Берзенин, В.М. Кичурчак, А.Г. Насад] // Материалы Междунар. геофиз. конф. “Геологической службе России 300 лет”: Тез. докл.: г. Санкт-Петербург, 2–6 окт. 2000 г. – СПб., 2000.*
7. *Щербина С.В.* Программное обеспечение телеметрической системы сбора и обработки микросейсмических данных в режиме on-line / С.В. Щербина, Ю.В. Лесовой // Геодинаміка. – 2008. – № 1(7). – С. 110–115.
8. *Щербина С.В.* Аналіз спектральних характеристик вібрацій у ґрунтах на території м. Києва, спричинених рухом поїздів метрополітену / С.В. Щербина, Т.В. Криль // Світ геотехніки. – 2011. – № 2. – С. 8–11.
9. *Щербина С.В.* Цифровые сейсмические регистраторы и их калибровка // Геофиз. журн. – 2011. – Т. 33, № 2. – С. 156–168.

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

Поступила в редакцию 05.06.2012 г.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина

С.В. Щербина, П.І. Пігулевський, Т.В. Криль

ОЦІНКА СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ У м. КРИВИЙ РІГ НА ОСНОВІ МІКРОСЕЙСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Для инженерно-геологічних умов м. Кривий Ріг проведено аналіз значень приросту бальності сейсмічних подій з урахуванням впливу техногенних транспортних навантажень. Детально описано геологічні умови досліджуваної території, наведено записи мікросейсмічних сигналів. Реєстрацію сигналів виконано із використанням сейсмічної станції UK15, розробленої в Інституті геофізики НАН України. Встановлено, що для визначення рівня сейсмічного навантаження на житлові будинки і споруди слід враховувати поправку бальності в 0,1.

Ключові слова: комп'ютерні системи мікросейсмічних спостережень, інформаційне мікросейсмічне районування, інтернет-технології реєстрації промислових вибухів.

ESTIMATION OF SEISMIC DANGER OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN KRYVYI RIH ON THE BASIS OF MICROSEISMIC SUPERVISIONS

An analysis of increase values of the seismic events intensity was carried out for the engineer-geological conditions of Kryvyi Rih taking into account influence of technogenetic transport loadings. The detailed description of geological conditions of investigated territory and records of microseismic signals are given. Registration of signals was made with the use of seismic station UK15, developed in the IG of NAS of Ukraine. It is set that to determine the level of seismic loading on dwelling buildings it is necessary to take into account the amendment of seismic intensity in 0,1.

Keywords: computer systems of microseismic observations, information microseismic zoning, online registration technology of industrial explosions.